

에너지 효율적인 센서 네트워크를 위한 분리된 방향성 메시지 기법

양창우^o 길아라

승실대학교 컴퓨터학과

redkillcow@nate.com, ara@ssu.ac.kr

Separated Directed Messaging for Energy Efficiency of Sensor Networks

Changwoo Yang^o, Ara Khil

School of Computing, Soongsil University

요약

무선 센서 네트워크에서 가장 중요한 요소는 네트워크를 에너지 효율적으로 운용하는 것이다. 이러한 목적을 충족시키기 위해 여러 라우팅 알고리즘이 제시 되었다. 그중 방향성 메시징 기법은 방향성 정보를 이용하여 영역별 탐색을 하고, 노드들로부터 ADV 메시지에 대한 정보를 받게 된다. 그러나 영역의 경계선상에 놓인 노드들은 ADV 메시지를 중복 송수신하여 다른 노드들에 비해 에너지 소비가 많다.

본 논문에서는 경계선 상에 놓인 노드들의 메시지 중복에 의한 에너지 소모를 줄이는 새로운 알고리즘을 제안하고, 이의 효율성을 실험을 통해 보인다.

1. 서론

무선 센서 망(wireless sensor network)은 각종 센서에서 수집한 정보를 무선으로 전달하는 네트워크이다[1]. 무선 센서 망은 사람의 접근이 불가능한 취약지역이나 군사, 재난 지역에 수 백 개의 센서망의 노드가 설치되어 사람이 감시하는 것과 같은 역할을 한다. 그러나 센서 망의 센서 노드는 제한된 자원을 가지며, 배터리의 교체나 충전의 어렵기 때문에 센서 노드를 가능한 한 오랜 시간동안 생존할 수 있도록 하는 저전력 MAC(Medium Access Control)과 저전력 라우팅(routing) 알고리즘이 반드시 필요하다[2,3].

저전력 MAC을 위한 S-MAC[4]은 슬롯 개념을 사용하여 에너지 효율의 극대화과 대역 효율성을 높이며, T-MAC[5]은 S-MAC의 고정된 의무 주기(duty cycle)을 적응적(adaptive)으로 변화시켜 에너지 효율을 개선한다.

저전력 라우팅 관련 알고리즘은 SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)[6]과 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[7], Directed diffusion[8] 등이 있다. SPIN은 같은 데이터를 여러 노드들에게 보낼 때 데이터가 중복으로 전달되는 것을 피하는 방법으로서 기존의 플로딩(Flooding) 라우팅 방식을 개선하여 저전력을 달성한다. LEACH는 에너지 소모를 고르게 분산시키기 위해 클러스터

헤더를 순환시키는 방법으로 저전력을 달성한다. Directed diffusion은 초기의 낮은 데이터 전송속도로 많은 트래픽을 여러 경로를 통해 전달하여 가장 좋은 경로를 찾은 후 찾은 경로를 통해 데이터를 전송함으로써 에너지 소모를 줄인다. 그러나 초기 경로 설정 과정에서 방송 방식(broadcasting)을 사용하기에 때문에 많은 전력을 소모한다.

방향성 메시징 기법(Directed Messaging: DM)[9]은 방송에 의하여 초기 경로를 설정하는 directed diffusion의 문제점을 개선한 알고리즘이다. 즉, 센서망의 영역을 나누어 싱크노드의 질의에 해당하는 소스 노드를 찾기 위해 방향성 정보를 가진 ADV(Advertisement)메시지를 센서망의 제한된 방향으로만 메시지를 전송함으로써 불필요한 에너지 소모를 줄인다. 그러나 제한된 방향에 따른 경계선 상에 위치한 노드들의 중복된 송수신으로 인하여 다른 위치의 센서 노드들에 비해 에너지 소모율이 높다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 DM을 사용하는 무선 센서 망의 경계선 상에 위치한 센서 노드들의 중복 송수신으로 인한 불필요한 전력 소모를 줄이기 위하여 분리된 방향성 메시징 기법(Separated Directed Messaging :S-DM)을 제안하고 향상된 에너지 효율을 정형적 성능분석 방법과 NS-2[12]를 이용한 모의실험 결과로써 나타낸다. S-DM은 DM과 동일한 영역 분

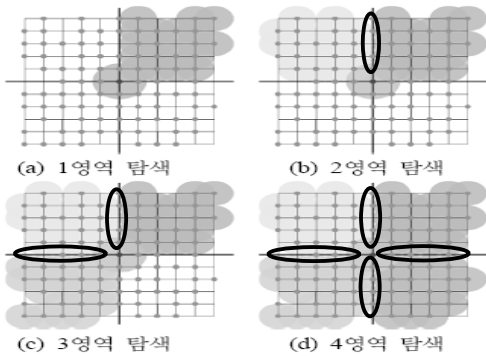
할 방법을 사용하며 메시지 전송 이전 방향성 좌표 계산에 따른 데이터 전달 라우팅 알고리즘을 사용하여 불필요한 중복 에너지 소비를 줄인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 관련연구로 DM기법에 대하여 설명한다. 제 3장에서는 본 논문에서 제안하는 S-DM 기법을 설명하고, 제 4장에서는 이에 대한 NS-2를 이용한 모의실험 결과를 나타내 보인다. 끝으로 제 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구방향에 대하여 말한다.

2. 관련 연구

DM은 Directed Diffusion에서 브로드캐스트를 이용하여 발생하는 네트워크 오버헤드에 대한 에너지 소비를 줄인다. 이로 인해 전체적인 네트워크 생존시간을 증가시키기 위해 제안된 라우팅 알고리즘이다[9].

싱크 노드가 소스 노드를 찾기 위해 ADV 메시지에 방향성 정보를 추가하여 제한된 방향으로 전송한다. 제한된 방향으로 메시지 전송이 일어나기에 전송 방향에 소스 노드가 존재하면, 소스 노드의 반대 방향에 위치한 노드들은 메시지 송수신이 일어나지 않아 에너지 소비를 줄인다. 하지만 해당 영역에 질의 정보에 해당하는 소스 노드가 없다면, 다음 영역으로 ADV메시지를 재전송한다. 이때 [그림 1]에 나타난 영역에서는 두 번의 데이터를 받는다.



[그림 1] 소스노드가 4영역에 있을 때 ADV 메시지 전송 과정 중 중복 수신되는 부분

경계선상의 노드가 많아질수록 중복 동일한 메시지를 중복 수신하게 되는 노드의 수가 많아져 기존에 사용되는 에너지에 비해 에너지 소비가 많다. 이러한 에너지 소비는 줄이기 위한 대책으로 S-DM을 제안한다.

3. Separated Directed Messaging 알고리즘

본 장에서는 DM의 문제점에 대한 해결 방안으로 제시한 separated directed messaging(이하 S-DM) 알고리즘을 설명한다.

3.1 알고리즘을 위한 가정 요구사항

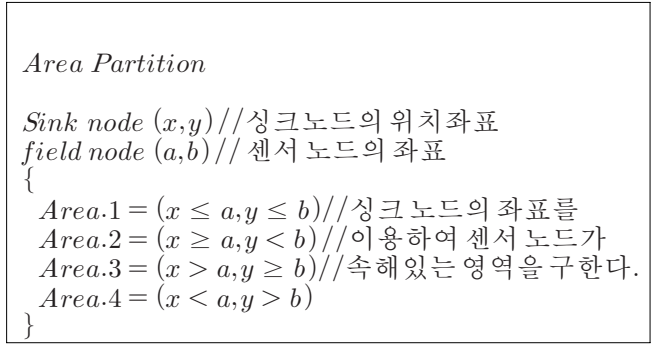
본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 DM을 기반으로 하

여 다음과 같은 동일한 요구사항을 갖는다.

- 1.싱크 노드를 포함한 전체 센서 노드들은 자신의 위치를 알고 있다.
- 2.모든 센서 노드는 위치가 고정되어 있다.

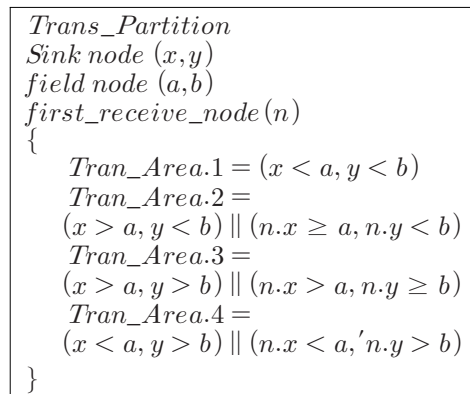
3.2 S-DM 알고리즘

S-DM에서는 크게 각 사분면에 해당하는 영역과 ADV 메시지를 전송하는 영역으로 나누어지는 기법이다. 기존의 영역 분할은 DM과 동일하지만 ADV 메시지를 전송할 수 있는 영역을 나눔으로써 기존에 중복 수신하는 곳을 줄인다.



[그림 2] 영역 분할 알고리즘

[그림 2]를 이용하여 전체적인 센서망의 각각의 영역을 분할한다. 이후 자신의 위치 정보를 알고 있는 노드들은 [그림 3]과 같이 자신의 위치정보와 ADV메시지에 포함된 정보를 가지고 자신이 송수신 할 것인가에 대해서 판단한다.



[그림 3] 전송 영역 알고리즘

첫 영역과 마주하는 영역 사이의 노드들이 송신하는 데이터가 중복되므로 이를 없애기 위해 경계선상의 노드들은 싱크로 전달되는 ADV메시지를 받기만 하고 전달은 하지 않는다.

또한 먼저 한 영역에 데이터를 주었다면 다른 영역에 데이터를 전달할 때 이를 피하기 위해 싱크노드에서 데이터를 받은 첫 번째 노드를 기준으로 전송 영역을 나누게 되면 중복 전송을 피할 수 있다.

이와 같은 알고리즘을 이용하게 되면 DM에서 제시한 알고리즘에 비해 경계영역에 존재하는 노드들이 메시지를 중복 수신

하는 것을 대부분 해결 한다.

4. 성능 분석

본 장에서는 본 논문에서 제시한 S-DM 알고리즘의 통신비용을 분석한다.

4.1 통신비용 분석

본 절에서는 제안하는 S-DM 알고리즘의 통신비용을 분석한다. 본 논문의 센서 노드의 평균 에너지 소비량 계산을 위해 (1),(2),(3) 식을 참조하여 분석한다[10].

$$E[\epsilon_D] = \lambda E[H](E_i + E_r) \quad (1)$$

$$E[H] = \Theta(\sqrt{n/\log n}) \quad (2)$$

$$E[\epsilon_D] = \lambda(E_i + E_r)\Theta(\sqrt{n/\log n}) \quad (3)$$

파라미터	내용
E	전체 노드의 에너지 소비량
E_{Area}	활당된 영역의 에너지 소비량
E_{Sink}	싱크 노드의 1회 전송 비용
N	전체 노드 수
N_{Areal}	활당된 영역의 노드 수
N_{bound}	영역별 경계선 상에 있는 노드 수
ϵ_i	노드가 메시지를 보낼 때 필요한 에너지 소비량
ϵ_r	노드가 메시지를 받을 때 필요한 에너지 소비량
ϵ_s	노드가 Idle모드에서 필요한 에너지 소비량

[표 1] 에너지 소비 측정 파라미터

센서 노드가 동작하는 에너지 모드는 Send, Receive, Idle 상태로 구분 한다. 이 세 가지 상태에 따른 에너지 소비 분석을 통해 실제 센서 노드의 에너지 소비량을 측정한다.

각 상태의 에너지 소비량 측정에 이용되는 분석 모델의 시스템 파라미터는 [표 1]과 같다.

DM에서는 분할된 네트워크 영역의 대기, 수신, 송신 상태를 적용한 소비량과 싱크 노드의 1회 재전송 비용을 식(4)(5)를 사용하여 계산한다.

$$E_{Area} = \{\lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \times N_{Area} \quad (4)$$

$$E_{Sink} = \{\lambda(\epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \quad (5)$$

식(4)(5)를 사용하여 S-DM에서 분할된 영역의 에너지 소비량과 싱크 노드의 재전송 비용을 적용하여 각 분할된 영역에 순차적으로 적용하면 식(6)(7)(8)(9)가 나온다.

1영역의 에너지 소비량은 1영역의 노드의 총합을 각각의 노드가 사용한 에너지를 곱함으로써 구한다.

2영역의 에너지 소비량은 1영역 다음에 2영역을 함으로 1영역에서 사용한 에너지와 2영역에서 사용하는 에너지를 합해서 구한다. 하지만 두 영역사이의 경계영역(1영역과 2영역 사이)이 두 번 중복되므로 한 번을 제거해서 구한다.

3영역의 에너지 소비량은 1영역과 2영역, 3영역에서의 에너지 소비량에서 각 영역의 경계(1영역과 2영역, 2영역과 3영역)에서의 중복된 에너지 소비를 제거해서 구한다.

마지막 4영역에서는 노드의 중복이 4번 발생함으로 이것에 대한 에너지 소비를 제거하여 구한다.

$$E_{Area.1} = \{\lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n} \times N_{Area.1}\} \quad (6)$$

$$E_{Area.2} = \lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n} \times (N_{Area.1} + N_{Area.2} - N_{bound}) + E_{Sink} \quad (7)$$

$$E_{Area.3} = \lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n} \times (N_{Area.1} + N_{Area.2} + N_{Area.3} - 2N_{bound}) + E_{Sink} \quad (8)$$

$$E_{Area.4} = \lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n} \times (N_{Area.1} + N_{Area.2} + N_{Area.3} + N_{Area.4} - 4N_{bound}) + E_{Sink} \quad (9)$$

분할된 영역들의 에너지 소비량은 노드들의 전체 에너지 소비량과 싱크 노드의 추가 송신 에너지 비용의 합에서 각 경계선상에 있는 노드에 대한 에너지 비용 뺀 것과 같다(식 6,7,8,9).

모든 영역에 대한 에너지 비용을 합하면 식(10)과 같이 나오며 이것은 전체 에너지 비용과 같다.

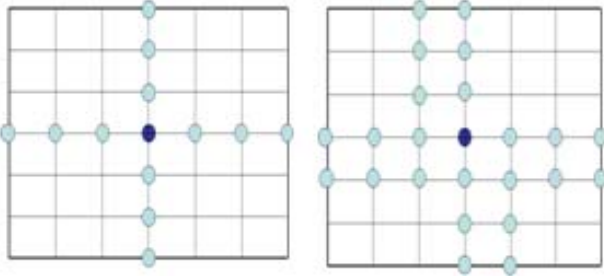
$$E_{Area.2} = \lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n} \times (N_{Total} - 7N_{bound}) + E_{Edge.\lambda} + 3E_{Sink} \quad (10)$$

즉 DM라우팅 프로토콜에 비해 경계선상의 노드가 중복된 메시지를 받게 되는 에너지를 제거함으로 전체 네트워크 에너지 효율이 증가한다.

다음은 경계선상에 있는 노드의 중복 횟수를 구함으로써 통신비용을 분석한다.

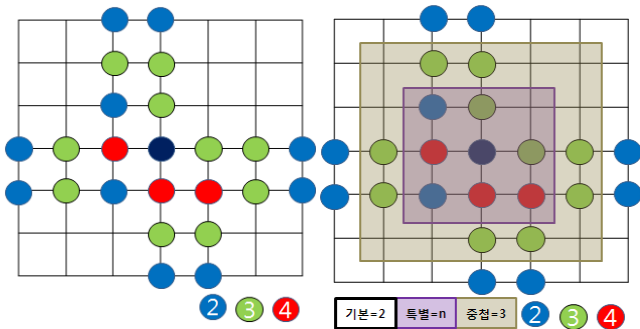
[그림 4]와 같이 n * n 으로 노드가 배열되어 있다고 가정할 때에 기본적으로 총 2n - 2 개의 노드가 양쪽 메시지의 영향을 받는다.

그 중 각각의 사분면이 현재와 같이 갈라지지 않고 노드를 우선적으로 차지하는 사분면에 포함된다라고 가정한다면 [그림 5]와 같이 나온다.



[그림 4] DM의 데이터가 중복되는 노드(왼쪽)
 [그림 5] 중복 수신 2회 이상인 노드(오른쪽)

[그림 5]에서는 중복되는 메시지 전달이 끝까지 이루어 질 경우 노드가 자신의 사분면이 아닌 중복된 메시지를 2회 이상 받는 지역을 표현한 그림으로 $n * n$ 행렬에서 비율로 나타내었을 경우 $4n-3$ 의 개수가 나오게 된다. 이것들은 전부 한 홉 안에 대각선에 있는 노드까지 받는다고 가정한 상태이고 그 중 2회 이상 받는 노드에 대한 체크만을 하였다 이 중 횡수를 체크한다면 [그림 6]과 같이 나온다.



[그림 6] 수신 횡수에 따른 노드 분류(왼쪽)
 [그림 7] 수신횡수에 따른 영역 분류(오른쪽)

[그림 6]에서 각각의 노드는 중앙의 싱크노드로부터 받는 노드의 기본 간섭에 대한 영역을 배제한 상태이며 서로 다른 영역에서 패킷을 받는 횡수이다.

파라미터	구분
K	총 중첩 패킷 수
A	sink 와 1hop간격을 둔 경계영역안의 노드
B	sink 와 2hop간격을 둔 경계영역안의 노드
C	sink 와 3hop 이상의 간격을 둔 경계영역안의 노드
P_n	전체 노드에서 패킷 오버되는 노드의 비율
P_c	전체 노드에 대한 패킷 오버 횡수

[표 2] 노드의 패킷에 대한 파라미터

[그림 7]과 같이 가장 마지막 영역은 2회만을 받고, 나머지 중앙 영역의 경우 3회, 싱크 노드 주변의 영역은 각각의 횡수로 간섭을 받는다.

이것 중 4회를 수신하는 노드의 개수는 노드 전체의 개수가 증가하더라도 증가하지 않는다. 식(11)은 노드들의 다른 영역의 패킷을 수신한 수이다.

$$k = (\sum A \times 2) + (\sum B \times 3) + \sum C \quad (N > 3) \quad (11)$$

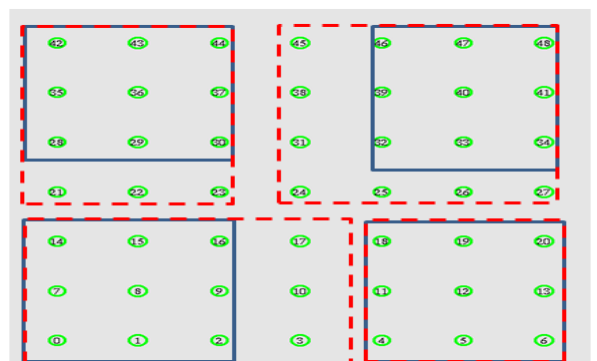
전체 노드의 개수는 n^2 이므로 전체 노드에서의 패킷 오버 되는 노드의 비율과 패킷 오버 횡수를 계산하면 식(12)(13)과 같다. 이로 인한 전체 네트워크에서 사용되는 에너지는 $O(C)$ 가 된다.

$$P_n = (4N-3)/n^2 \quad (12)$$

$$P_c = (\lfloor N/2 \rfloor - 2) \times 24 + 38 \quad (13)$$

4.3 실험환경

본 논문에서 제안한 프로토콜은 NS-2를 이용하여 시뮬레이션 하였으며, DM에서 사용한 실험 환경을 그대로 사용하였다. 이것을 위해 S-MAC 구조에 기반을 둔 100m X 100m 영역에 노드들을 한 홉 간격의 격자 모양으로 분포 시킨 환경을 주어지게 했으며, 싱크노드는 네트워크를 중앙과 분할된 각 영역으로 옮겨가면서 실험을 실시하였다. 센서 노드의 무선 대역폭은 100Kbps 이고, 메시지의 길이는 5byte로 설정하여 각 노드 사이의 밀집도를 증가시켜 가며 실험하였으며, 대기(1):수신(2):송신(2.5)의 에너지 소비량[11]과 전송 범위를 고려하여 S-DM 알고리즘을 수행하고 에너지 소비량을 측정한다.



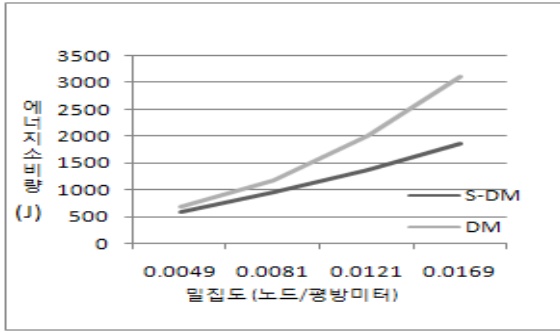
[그림 8] sink 메시지를 수신 송신 하는 노드 (선) 수신만 하는 노드 (선 이외의 점선)

4.3.1 에너지 소비량 분석

[그림 9]는 DM과 S-DM의 밀집도에 따른 에너지 소비량을 나타낸 것으로 4방향으로 각각 한번 씩 보낸 총에너지를 그린 것이다. 네트워크의 밀집도가 증가하면, 각 노드의 메시지 전

송 범위 안에 배치된 노드들의 메시지 송수신이 증가하여 네트워크 전체의 에너지 소비량이 증가한다.

밀집도가 높아지면 경계선상에 놓인 노드의 수도 같이 높아지기 때문에 DM이 S-DM보다 적게는 16% 많게는 40%의 높은 에너지 소비량을 보인다.

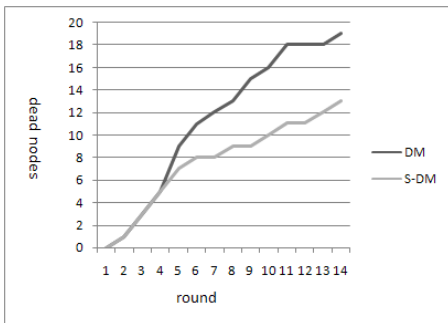


[그림 9] 밀집도에 따른 에너지 소비량

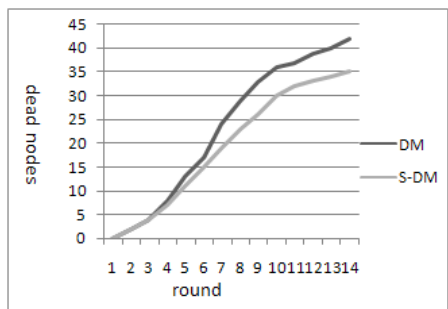
4.3.2 손실된 노드 분석

[그림 10]과 [그림 11]는 초기 에너지를 각 노드마다 50J로 고정하여 시작하여 밀집도가 증가 할수록 메시지 송수신에 참여하는 노드가 증가하여 손실된 노드 수가 증가됨을 보여준다.

DM과 S-DM은 초기에는 손실된 노드수가 비슷하게 올라가지만 약 5라운드부터 차이가 벌어지기 시작한다. DM이 S-DM 보다 최대 30% 많은 노드가 손실 한다.



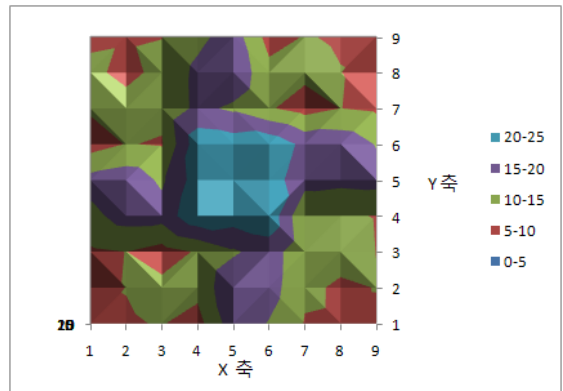
[그림 10] 밀집도가 0.0049일 때 매 라운드에 따른 죽는 노드 수



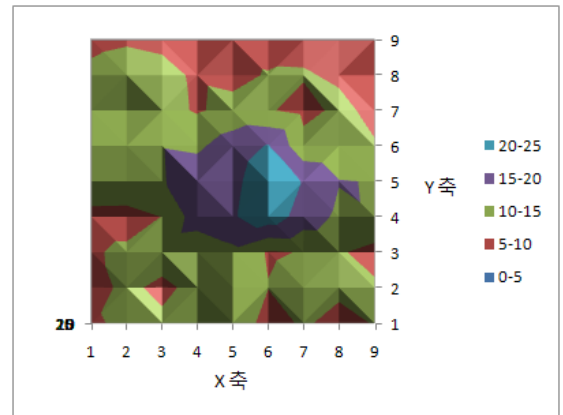
[그림 11] 밀집도가 0.0081일 때 매 라운드에 따른 죽는 노드 수

4.3.3 네트워크 전체 에너지 소비

[그림 12]와 [그림 13]은 밀집도 0.0081 일 때 네트워크 전체에 대한 에너지 소비를 나타낸다. DM에서는 각 영역의 경계선상의 에너지 소비가 상당히 크게 나타나 영역간의 구분이 가능하게 그림이 그려진다. S-DM에서는 경계영역의 노드들의 에너지 소비가 DM보다 적음으로 경계선상에 있는 노드나 경계선상에 있지 않은 노드가 거의 동일한 에너지 소비를 나타낸다. 그림을 통해 S-DM의 에너지 소비가 DM에 비해 낮은 것으로 나타난다.



[그림 12] DM알고리즘을 사용한 네트워크 전체 에너지 사용률



[그림 13] S-DM알고리즘을 사용한 네트워크 전체 에너지 사용률

5. 결론

센서 네트워크는 어디서나 통신을 하기 위해 그 연구의 필요성과 응용 분야가 넓어지고 있다. 센서 네트워크는 특성상 다른 무선 네트워크 보다 많은 에너지 제약을 받는다. 신뢰성 있는 정보를 제공하기 위해 센서 노드는 제한된 자원을 효율적으로 이용하여 최대한 긴 생존 시간을 확보해야 한다. 센서 네트워크는 브로드캐스팅 방식의 통신 방식이기에 불필요한 메시지 송수신으로 에너지 소비가 많이 발생한다.

센서 네트워크 전체로 메시지를 전송하지 않고, 지역을 구분하여 ADV 메시지를 보냄과 더불어 각 영역의 경계선상의 메시지 중복 수신을 없앴으로써 에너지 소비를 줄인다. 지속적

으로 실험한 결과 센서 네트워크 전체 에너지 소비량은 노드 수가 증가가 증가함에 따라 기존의 directed messaging 기법에 비해 적게는 16% 많게는 40%의 에너지 소비량이 감소한다.

이 연구를 통해 센서네트워크를 구성하는 노드들의 불필요한 에너지 소비를 최소화 하여 각 노드의 생존 시간의 향상을 가져온다. 그러나 여전히 싱크나 소스 노드 주변의 노드들에서는 트래픽 집중을 통한 에너지 소비가 많은 것은 해결하기 위한 연구가 진행 되어야 한다.

참조문헌

[1] G. Huang, L. J. Xiaowei, "Energy-Efficiency Analysis of Cluster-Based Routing Protocols in Wireless Sensor Networks", HeAerospace Conference, 2006 IEEE, 4-11 March 2006

[2] Rahul C. Shah and Jan M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad-hoc Sensor Networks", IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 350-355, March 2002.

[3] I. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, vol.40, no.8, pp.102-114, August 2002

[4] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks," in Proceedings of the IEEE Infocom, New York, NY, pp. 1567-1576, June 2002.

[5] T. van Dam and K. Langendoen. "An adaptive energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks," Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Nov. 2003.

[6] W. R. Heinzelman, J. Kulik and H. Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks," in Proc. ACM/IEEE MobiCom 1999, pp. 174-185, Aug. 1999.

[7] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in Proc. IEEE Hawaii International Conference on System Sciences 2000, Jan. 2000.

[8] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, August 2000.

[9] 에너지 효율적인 센서 네트워크를 위한 방향성 메시징 기법, 전진환, 2006.12

[10] Gaurav Sharma and Ravi Mazumdar, "Hybrid sensor

network: a small world," Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2005), Urbana-Champaign, IL, USA, pp.366-377, May 25-27, 2005

[11] Wei Ye, John Heidemann, and Devorah Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," USC/ISI Technical Report ISI-TR-567, January 2003

[12] The Network Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>